



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**
①⑩ **DE 195 39 134 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 B 7/00
G 01 B 7/30
// H03M 1/12

②① Aktenzeichen: 195 39 134.9
②② Anmeldetag: 20. 10. 95
④③ Offenlegungstag: 24. 4. 97

DE 19539134 A1

⑦① Anmelder:
Schödlbauer, Dieter, Dipl.-Phys. Dr., 81825 München,
DE

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 44 22 868 A1
DE 41 00 666 A1
DE 40 29 828 A1

⑤④ Auswerteverfahren für berührungslos messende Weg-/Winkelaufnehmer mit sinusförmigen Spursignalen

DE 19539134 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Tangens bzw. des Kotangens des Phasenwinkels α , abwechselnd in jeweils aufeinander folgenden Quadranten der Signalperiode, so daß nur die Phasenlage der beiden Signale zur Auswertung kommt und der genutzte Wertebereich der Winkelfunktionen zwischen -1 und $+1$ liegt. Das Verfahren vermeidet somit weitgehend den Einfluß von nicht stabilisierten Signalamplituden und führt bei vergleichsweise geringerem Aufwand zu einem Ergebnis in digitalisierter Form.

Für die Bestimmung des jeweils gültigen Quadranten sowie der zugehörigen Winkelfunktionen wird ein Satz von vier sinusförmigen Signalen herangezogen, welche mit einer (örtlichen) Phasendifferenz von jeweils 45° aufeinander folgen.

$U_0(\alpha) = A \sin(\alpha)$ und $U_1(\alpha) = A \cos(\alpha)$ sind die gemessenen Spursignale, aus denen durch Addition bzw. Subtraktion die zusätzlichen Signale $U_2(\alpha)$ und $U_3(\alpha)$ abgeleitet werden. Die Berechnung der Winkelfunktionen wird auf einen Vergleich zweier Analogspannungswerte mit sukzessiver Approximation zurückgeführt, wobei das Steuerregister des eingesetzten multiplizierenden Digital-Analog-(D/A)-Wandlers als Ergebnis das Bitmuster des (stets positiven) Ausdrucks

$$\frac{1}{2} \cdot [\tan(\alpha) + 1] \quad \text{bzw.} \quad \frac{1}{2} \cdot [\cot(\alpha) + 1]$$

enthält, mit dessen Hilfe sich der gesuchte Phasenwinkel bzw. Lagewert α in konventioneller Weise über eine Winkeltabelle bestimmen läßt.

Aufgabe ist die Auswertung von zwei um 90° versetzten Sinussignalen (Sinus/Cosinus) für die genaue Bestimmung des Lagewertes innerhalb einer Signalperiode.

Die bekannten und derzeit eingesetzten Verfahren dienen hauptsächlich zur Steigerung der Auflösung bei inkrementalen Gebern mit sinusförmigen Spursignalen. Der gesuchte örtliche Lagewert setzt sich dabei aus zwei Anteilen zusammen: Für die Grobauflösung wird ein Periodenzähler verwendet, zur Feinauflösung innerhalb einer Signalperiode, d. h. zur Bestimmung des Phasenwinkels werden die digitalisierten Spannungswerte der beiden Spursignale herangezogen (siehe z. B. Zeitschrift Elektronik 1/94, "Spurenauswertung" mit Spezial-Chip, Seite 24 ff.). Die digitalisierten Signalspannungswerte dienen direkt zur Adressierung der in einem Speicher abgegebenen Winkeltabelle. Hierzu werden die Signale unabhängig voneinander entweder parallel in zwei getrennten Analog/Digital-(A/D)-Wandlern verarbeitet oder im Multiplexbetrieb mit einem Umsetzer konvertiert, sofern die Verarbeitungszeit dies erlaubt. Beiden Methoden ist im Gegensatz zu dem hier betrachteten Auswerteverfahren gemeinsam, daß die Signalamplituden der beiden Spuren jeweils unabhängig voneinander konstant sein müssen. Nur in diesem Fall existiert ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den gemessenen Spannungswerten und dem gesuchten Phasenwinkel.

Es wird ein Approximationsverfahren für die Durchführung einer Tangens-Kotangens-Interpolation vorgeschlagen. Mit Hilfe dieser Methode läßt sich der Einfluß von nicht stabilisierten Signalamplituden weitgehend eliminieren, da vom Prinzip her nur die Phasenlage der beiden Signale zueinander zur Auswertung kommt.

Mathematische Beschreibung des Auswerteverfahrens

Die hier vorgestellte mathematische Beschreibung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das Funktionsprinzip des Auswerteverfahrens wird jedoch ohne Beschränkung der Allgemeinheit hinreichend erfaßt.

Die Fig. 1 bis 5 dienen zur graphischen Illustration der diskutierten Formeln.

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen:

α : Phasenwinkel, $0 \leq \alpha \leq 2\pi$

U_i : Signalspannungswerte mit Indices $0 \leq i \leq 3$, siehe Text

A: Amplitude der Spursignale

$\Phi(x)$: Sprungfunktion, $\Phi(x) = 0$ für $x \leq 0$, $\Phi(x) = 1$ für $x > 0$

q_0, q_1 : Hilfsfunktionen, wie nachfolgend beschrieben

$q(\alpha)$: Nummer des Quadranten innerhalb einer Signalperiode, $0 \leq q \leq 3$

$\cot \tan(\alpha)$: je nach Quadrant wechselnde Winkelfunktion Tangens oder Kotangens

$\Phi(\alpha)$: Berechneter Lagewert (Endergebnis), $0 \leq \Phi(\alpha) \leq 2\pi$

Gegeben sind die beiden sinusförmigen Spursignale U_0 und U_1 mit einer wechselseitigen Phasendifferenz von $\pm 90^\circ$ Grad (Fig. 1):

$$U_0(\alpha) = A \cdot \sin(\alpha) \quad (1)$$

$$U_1(\alpha) = A \cdot \cos(\alpha) \quad (2)$$

Durch Addition und Subtraktion der Meßspannungen (1) und (2) erhält man die Linearkombinationen U_2 und U_3 mit einer Phasenverschiebung von $\pm 45^\circ$ zu den Spursignalen (Fig. 2):

$$U_2(\alpha) = U_1(\alpha) + U_0(\alpha) = A \cdot [\cos(\alpha) + \sin(\alpha)] \quad (3)$$

$$U_3(\alpha) = U_1(\alpha) - U_0(\alpha) = A \cdot [\cos(\alpha) - \sin(\alpha)] \quad (4)$$

Zur Vermeidung von Singularitäten bei der nachfolgenden Quotientenbildung (Division durch Null) werden vier Quadranten $q(\alpha)$ definiert, in denen abwechselnd entweder eine Tangens- oder eine Kotangensfunktion zur Auswertung gelangt (siehe die Fig. 3 und 4).

Mit den Modellfunktionen q_0, q_1 gemäß

$$q_0(\alpha) = 1 - \Phi[U_0(\alpha) \cdot U_1(\alpha)] \quad (5)$$

$$q_1(\alpha) = 1 - \Phi[U_0(\alpha)] \quad (6)$$

ergeben sich die vier Quadranten $q = 0 \dots 3$ innerhalb einer Signalperiode zu

$$q(\alpha) = q_0(\alpha) + 2 \cdot q_1(\alpha) \quad (7)$$

Die Festlegung der jeweils verwendeten Winkelfunktion $\tan(\alpha)$ oder $\cot(\alpha)$ erfolgt mit Hilfe von $q_0(\alpha)$. Hierzu wird eine Funktion $\cot_tan(\alpha)$ wie folgt definiert (vgl. Fig. 4):

$$\cot_tan(\alpha) = \frac{U_2(\alpha)}{U_3(\alpha)} \quad \text{wenn} \quad q_0(\alpha) > 0 \quad (8a)$$

$$\cot_tan(\alpha) = \frac{U_3(\alpha)}{U_2(\alpha)} \quad \text{wenn} \quad q_0(\alpha) \leq 0 \quad (8b)$$

für den gesuchten Lagewert $\Phi(\alpha)$ innerhalb einer Signalperiode erhält man den Ausdruck

$$\phi(\alpha) = [q(\alpha) + \frac{1}{2}] \cdot \frac{\pi}{2} - (-1)^{q_0(\alpha)} \cdot \arctan[\cot_tan(\alpha)] \quad (9)$$

Fig. 5 zeigt den erwarteten Verlauf von $\Phi(\alpha)$ gemäß Gl. (9).

Schaltungstechnische Realisierung

Das Kernstück des hier vorgestellten Verfahrens ist die sukzessiv-approximative Auswertung der Gln. (8a, 8b) durch einen Spannungsvergleich, ähnlich wie bei einem nach diesem Prinzip arbeitenden A/D-Wandler. Zum besseren Verständnis ist es vorteilhaft, die beiden Gleichungen umzuformen, z. B. Gl. (8a):

$$\frac{U_2(\alpha)}{U_3(\alpha)} = \cot_tan(\alpha)$$

folgt

$$U_2(\alpha) - \cot_tan(\alpha) \cdot U_3(\alpha) = 0 \quad (10)$$

Ein multiplizierender Digital-Analog-(D/A)-Wandler erzeugt die Ausgangsspannung $U_a = \cot_tan(\alpha) \cdot U_3(\alpha)$, wobei das Analogsignal $U_3(\alpha)$ prinzipiell als Referenzspannung U_{Ref} dient und $\cot_tan(\alpha)$ als Binärzahl über das eingeebete Butmuster angenähert wird. Der Wandlerzyklus ist dann abgeschlossen, wenn durch Vergleich von U_a mit dem Signalspannungswert $U_2(\alpha)$ mittels eines Komparators die Gleichung (10) "gelöst" ist und das Steuerregister demzufolge den Zahlenwert der gewünschten Winkelfunktion $\cot_tan(\alpha)$ enthält. Anschließend läßt sich der gesuchte Phasenwinkel bzw. Lagewert $\Phi(\alpha)$ in konventioneller Weise über eine Winkeltabelle auslesen.

Für die praktische Durchführung der Multiplikation ist zu beachten, daß die \cot -/ \tan -Funktionen wegen des Wertebereiches von -1 bis $+1$ beide Vorzeichen annehmen können (siehe Fig. 4).

Mit den Gleichungen (3) und (4) gilt

$$U_2(\alpha) + U_3(\alpha) = 2 \cdot U_1(\alpha)$$

und somit

$$U_1(\alpha) - \frac{1}{2} \cdot [\cot \tan(\alpha) + 1] \cdot U_3(\alpha) = 0 \quad (11)$$

Bei Auswertung der Gleichung (11) anstelle von (10) tritt kein Vorzeichenwechsel des Multiplikators mehr auf. Entsprechend lautet die Gl. (8b) in umgeschriebener Form

$$U_1(\alpha) - \frac{1}{2} \cdot [\cot \tan(\alpha) + 1] \cdot U_2(\alpha) = 0 \quad (12)$$

Die Fig. 6 zeigt die entsprechende Beschaltung der Tan-/Cot-Interpolation unter vorteilhafter Zugrundelegung der Gleichungen (11) und (12).

Die beiden Spursignale $U_0(\alpha)$ und $U_1(\alpha)$ werden verstärkt, zur Bildung von $U_2(\alpha)$ und $U_3(\alpha)$ addiert bzw. subtrahiert und mittels Halteglieder für die Dauer einer Abtastperiode "eingefroren". Zur Bestimmung des Quadranten q mit Bitmuster $1D_n + D_n$ dient eine Quadrantenlogik, wobei zunächst die Spursignale $U_0(\alpha)$ und $U_1(\alpha)$ mit Hilfe von Komparatorschaltungen in die Logikzustände $u_0(\alpha)$ und $u_1(\alpha)$ übergeführt werden:

$$\begin{aligned} U_0(\alpha) > 0 &\Rightarrow u_0(\alpha) = 1 \\ U_0(\alpha) < 0 &\Rightarrow u_0(\alpha) = 0 \\ U_1(\alpha) > 0 &\Rightarrow u_1(\alpha) = 1 \\ U_1(\alpha) < 0 &\Rightarrow u_1(\alpha) = 0 \end{aligned}$$

mit $D_{n+1}, D_n = f(u_0, u_1)$

Für D_n gilt die Funktionstabelle

		u_1	
		0	1
u_0	0	0	1
	1	1	0

d. h. $D_n = u_0 \text{ xor } u_1$

für D_{n+1} gilt die Funktionstabelle

		u_1	
		0	1
u_0	0	1	1
	1	0	0

d. h. $D_{n+1} = \overline{u_0}$

Das niederwertige Bit D_n des Quadranten entscheidet, ob $U_3(\alpha)$ oder $U_2(\alpha)$ als Referenzspannung U_{Ref} für den D/A-Wandler dient, d. h. ob die Gl. (11) oder die Gl. (12) zur Auswertung kommt. Bei Verwendung eines Wandlers mit Bitbreite n steht nach dem Auslesen der Winkeltabelle der Lagewert $\Phi(\alpha)$ als durchgängige Binärzahl $D_0 \dots D_{n+1}$ mit einer Auflösung von $(n+2)$ Bit zur Verfügung:

MSB	D_{n+1}	D_n	$D_{n-1} \dots D_0$	LSB
-----	-----------	-------	---------------------	-----

D_{n-1} bis D_0 : Feinauflösung innerhalb des Quadranten $D_{n+1}D_n$ mit n Bit

$D_{n+1}D_n$: Nummer des Quadranten

Patentansprüche

1. Auswerteverfahren für Positionssensoren mit zwei um 90° zueinander phasenverschobenen Meßsignalen $U_0(\alpha) = A \sin(\alpha)$ und $U_1(\alpha) = A \cos(\alpha)$ zur Bestimmung des Lagewertes α innerhalb einer Signalperiode, wobei prinzipiell nur die Phasenlage der beiden Signale zueinander zur Auswertung kommt, dadurch gekennzeichnet, daß

— in geeignet gewählten, aufeinander folgenden Quadranten der Signalperiode jeweils der Tangens bzw. der Kotangens des Phasenwinkels α , ausgedrückt durch die Quotienten $U_0(\alpha)/U_1(\alpha)$ bzw. $U_1(\alpha)/U_0(\alpha)$, dargestellt wird,

— bei beiden Winkelfunktionen nur der Wertebereich zwischen -1 und $+1$ genutzt wird, so daß die Steigung der Winkelfunktionen, bezogen auf den Phasenwinkel α , betragsmäßig stets ≤ 2 ist.

2. Auswerteverfahren für Weg-/Winkelaufnehmer mit sinusförmigen Spursignalen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des jeweiligen gültigen Quadranten unter Zuhilfenahme von

Signalen $U_2(\alpha)$ und $U_3(\alpha)$ erfolgt, welche durch Addition bzw. Subtraktion der Meßsignale gebildet werden und somit zu den Meßsignalen eine Phasenverschiebung von $\pm 45^\circ$ aufweisen.

3. Auswerteverfahren für Weg-/Winkelaufnehmer mit sinusförmigen Spursignalen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalspannungen $U_0(\alpha)$ und $U_1(\alpha)$ mit den Signalen $U_2(\alpha)$ und $U_3(\alpha)$ in ihrer Funktion sinngemäß vertauscht werden.

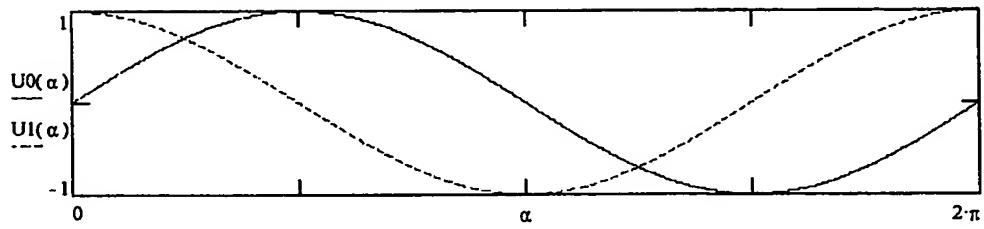
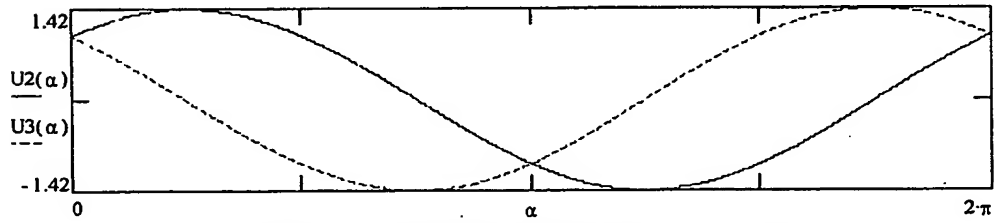
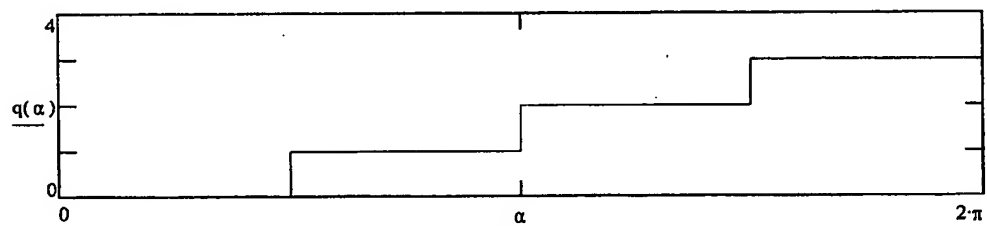
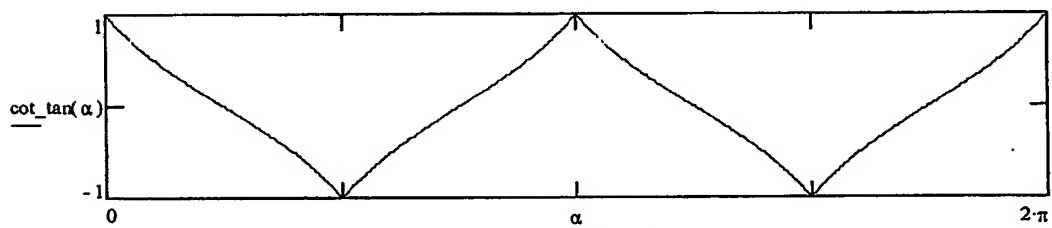
4. Auswerteverfahren für Weg-/Winkelaufnehmer mit sinusförmigen Spursignalen nach Anspruch 1 bis Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung der Winkelfunktionen Tangens bzw. Kotangens auf einen Vergleich zweier Analogspannungswerte mit sukzessiver Approximation zurückgeführt wird, wobei das Steuerregister eines multiplizierenden Digital-Analog-(D/A)-Wandlers als Ergebnis das Bitmuster des (stets positiven) Ausdrucks

$$\frac{1}{2} \cdot [\tan(\alpha) + 1] \quad \text{bzw.} \quad \frac{1}{2} \cdot [\cot(\alpha) + 1]$$

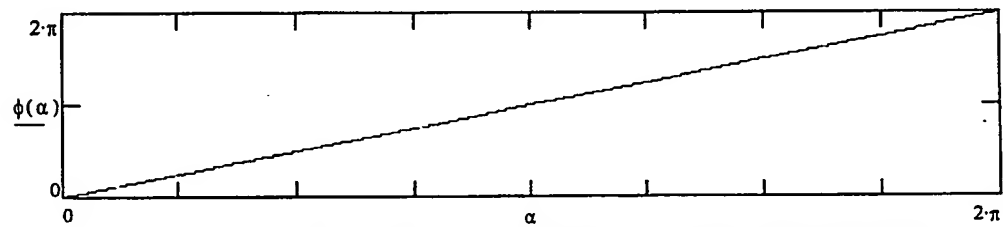
enthält, mit dessen Hilfe sich der gesuchte Phasenwinkel bzw. Lagewert α anschließend in konventioneller Weise über eine Winkeltabelle bestimmen läßt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

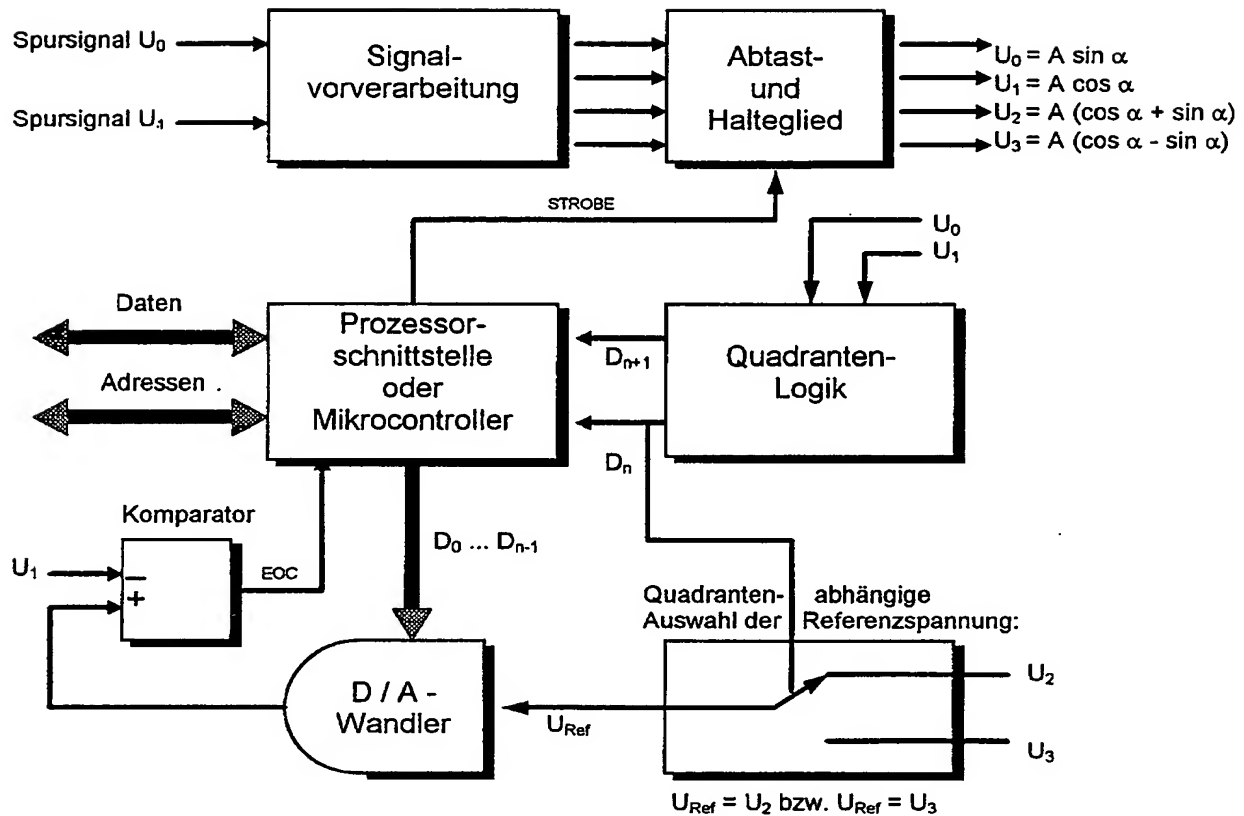
- Leerseite -

Figur 1: Spurssignale U_0 und U_1 (normiert)Figur 2: Linearkombinationen U_2 und U_3 Figur 3: Quadranten $q = 0 \dots 3$ 

Figur 4: Zugehörige Cot-/Tan-Funktionen (4 Auswertebereiche)



Figur 5: Berechneter Lagewert (Ergebnis der Tan/Cot-Interpolation)



Figur 6: Prinzipschaltung zum Auswerteverfahren